

SAEE-Jahrestagung
Zürich, 13. November 2015

Strommarkoliberalisierung, Lenkungsabgaben und Atomausstieg

Aktuelle Herausforderungen für
energieökonomische Simulationen
am Beispiel des ELECTRA-Modells

Dr. Frank Vöhringer
Econability & EPFL

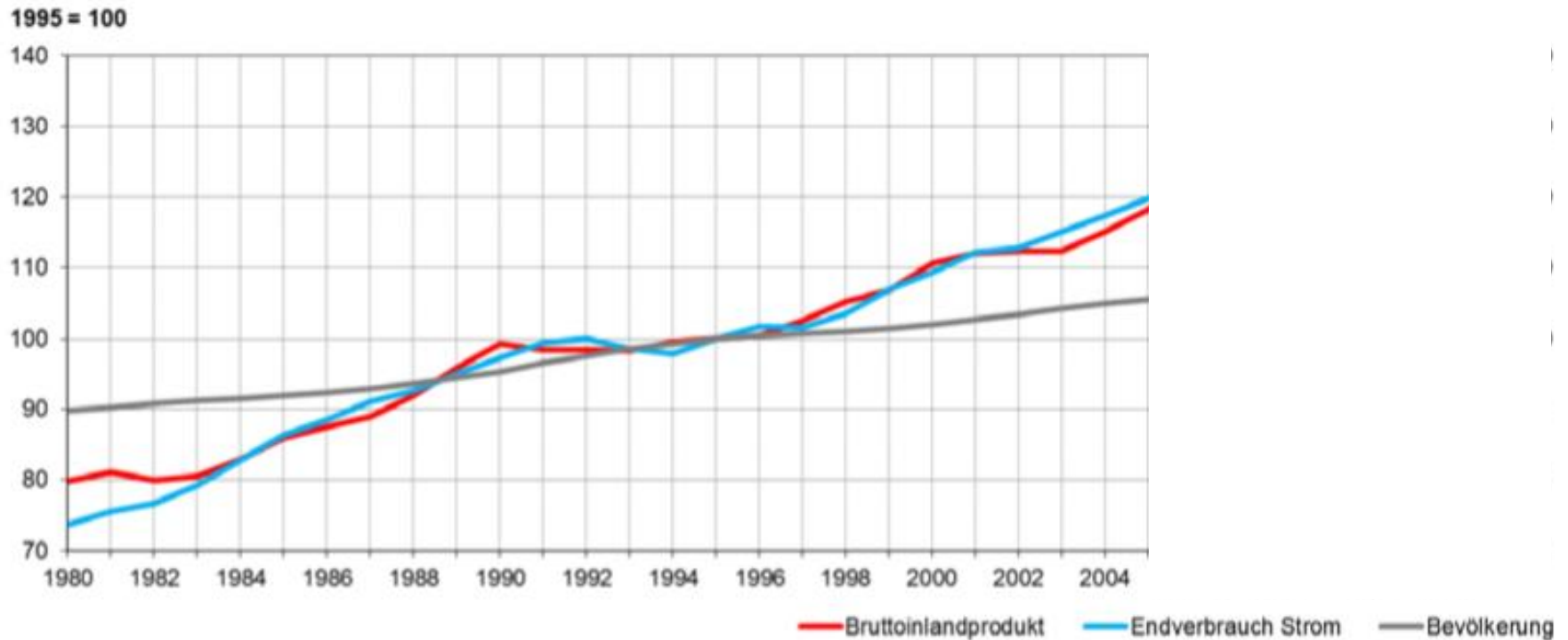
Überblick

- Veränderungen, Veränderungen
- Warum die üblichen Modelle nun nicht mehr so gut weiterhelfen
- ELECTRA: ein neues Modell für neue Aufgaben
 - Beteiligte Modelle und Modellkopplung
 - Kopplung macht den Unterschied
 - Warum es bei der Kopplung auf die Marktregulierung ankommt
- Schlussfolgerungen

Eine Auswahl wichtiger Veränderungen

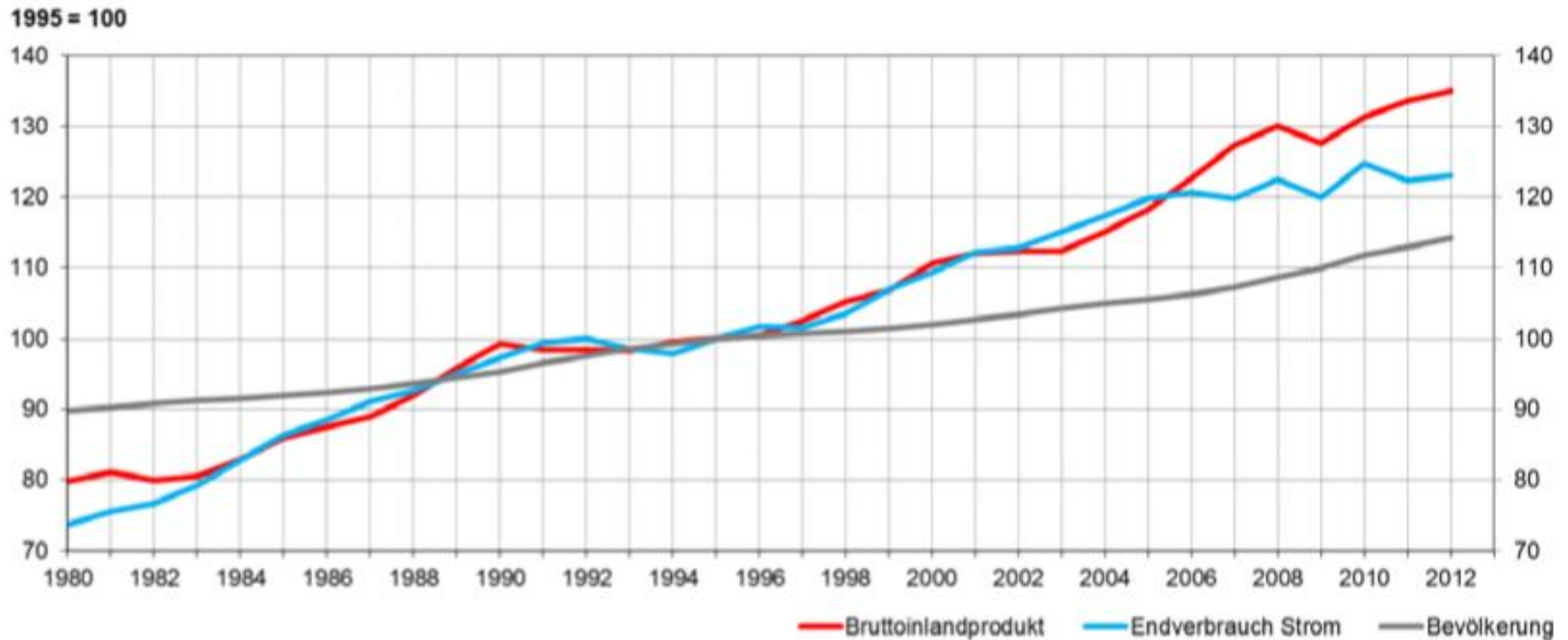
- Entkopplung der Stromnachfrage vom Wirtschaftswachstum
 - technischer Fortschritt / Energieeffizienz / Klimapolitik

Veränderungen, Veränderungen Stromverbrauch und Wirtschaftsleistung



Quelle: VSE nach BFS, seco, BFE

Veränderungen, Veränderungen Stromverbrauch und Wirtschaftsleistung



Quelle: VSE nach BFS, seco, BFE

Eine Auswahl wichtiger Veränderungen

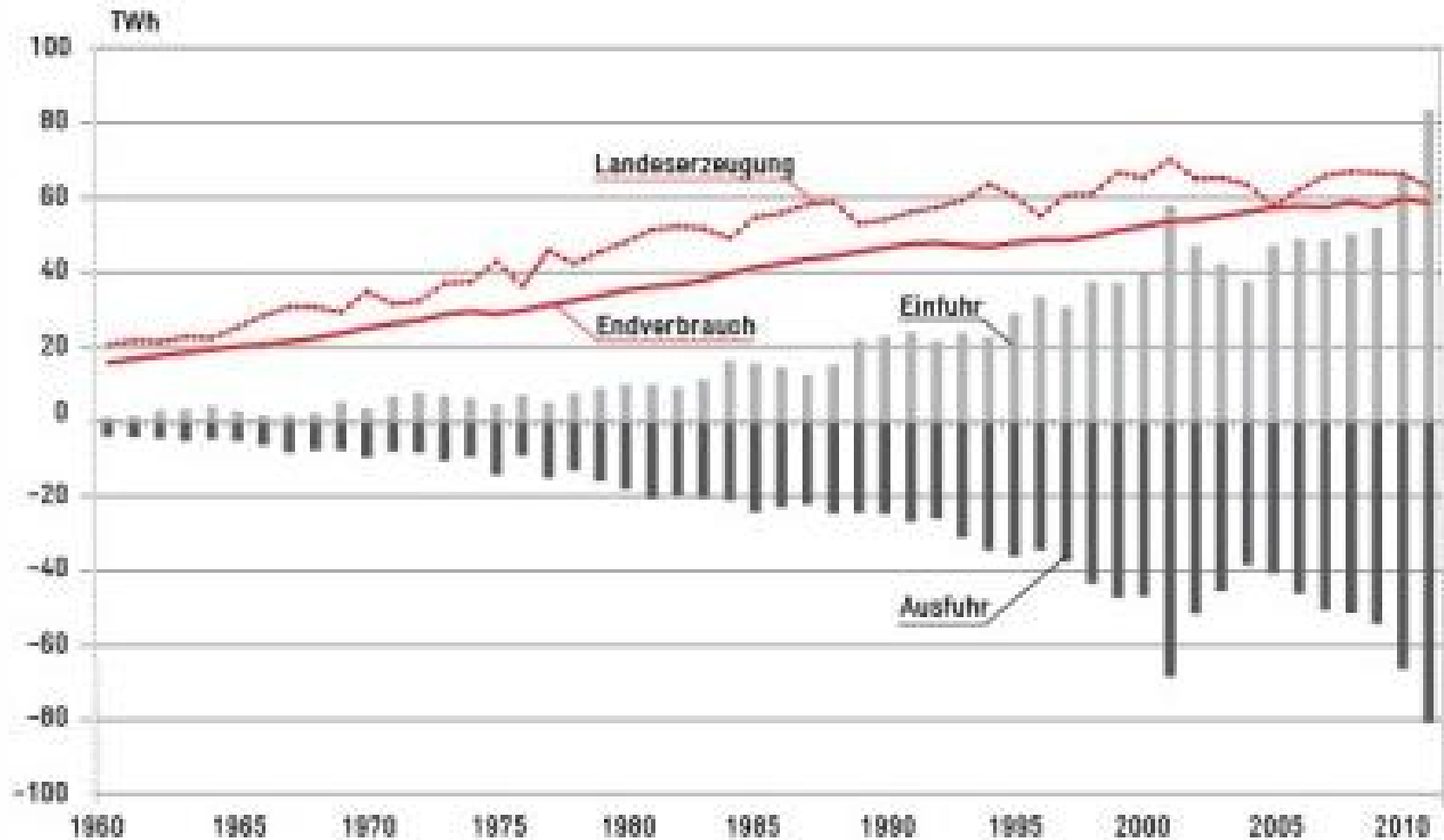
- Entkopplung der Stromnachfrage vom Wirtschaftswachstum
 - technischer Fortschritt / Energieeffizienz / Klimapolitik
- Atomausstieg
 - grosser Anteil an der Erzeugungskapazität
 - unklare Laufzeiten

Eine Auswahl wichtiger Veränderungen

- Entkopplung der Stromnachfrage vom Wirtschaftswachstum
 - technischer Fortschritt / Energieeffizienz / Klimapolitik
- Atomausstieg
 - grosser Anteil an der Erzeugungskapazität
 - unklare Laufzeiten
- Zunehmende Integration in den europäischen Verbund

Veränderungen, Veränderungen

Elektrizitätsbilanz der Schweiz (TWh, 1960-2011)



Quelle: avenir suisse

Eine Auswahl wichtiger Veränderungen

- Entkopplung der Stromnachfrage vom Wirtschaftswachstum
 - technischer Fortschritt / Energieeffizienz / Klimapolitik
- Atomausstieg
 - grosser Anteil an der Erzeugungskapazität
 - unklare Laufzeiten
- Zunehmende Integration in den europäischen Verbund
- Zunehmender Handel an Spot- und Terminmärkten
 - weniger langfristige Verträge
 - Volatilität

Eine Auswahl wichtiger Veränderungen

- Entkopplung der Stromnachfrage vom Wirtschaftswachstum
 - technischer Fortschritt / Energieeffizienz / Klimapolitik
- Atomausstieg
 - grosser Anteil an der Erzeugungskapazität
 - unklare Laufzeiten
- Zunehmende Integration in den europäischen Verbund
- Zunehmender Handel an Spot- und Terminmärkten
 - weniger langfristige Verträge
 - Volatilität
- Rasch zunehmender Anteil der Erneuerbaren (vor allem in Deutschland)
 - verändert die Anforderungen des Marktes und die Preise

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
 - Beeinflussung der Nachfrage über Preise, Marktgleichgewicht
 - Präferenzen, bestehende Produktionstechnologie
 - Wohlfahrts- und Verteilungseffekte

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
 - Beeinflussung der Nachfrage über Preise, Marktgleichgewicht
 - Präferenzen, bestehende Produktionstechnologie
 - Wohlfahrts- und Verteilungseffekte
- Atomausstieg: Domäne der Energiesystemmodelle
 - bestehende Kraftwerke, Zubauoptionen
 - bestehende Nachfrage (Lastkurven)
 - Minimierung der Systemkosten
 - zukünftige Energieträgeranteile

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
 - Beeinflussung der Nachfrage über Preise, Marktgleichgewicht
 - Präferenzen, bestehende Produktionstechnologie
 - Wohlfahrts- und Verteilungseffekte
- Atomausstieg: Domäne der Energiesystemmodelle
 - bestehende Kraftwerke, Ausbauoptionen
 - bestehende Nachfrage (Lastkurven)
 - Minimierung der Systemkosten
 - zukünftige Energieträgeranteile
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe
 - MARKAL Macro, Hybridmodelle
 - theoretisch konsistent, aber begrenzte Einsatzmöglichkeiten
 - gekoppelte Modelle
 - hoher technischer und ökonomischer Detaillierungsgrad möglich
 - gemeinsames Gleichgewicht für sehr verschiedene Modelle

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
- Atomausstieg: Domäne der Energiesystemmodelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe: Hybridmodelle / gekoppelte Modelle

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
- Atomausstieg: Domäne der Energiesystemmodelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe: Hybridmodelle / gekoppelte Modelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe + Strommarkliberalisierung

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
- Atomausstieg: Domäne der Energiesystemmodelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe: Hybridmodelle / gekoppelte Modelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe + Strommarkliberalisierung
+ zunehmende europäische Marktintegration + internationale Energie-
und Klimapolitik + Erneuerbare + Elektromobilität + Smart Grids

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
- Atomausstieg: Domäne der Energiesystemmodelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe: Hybridmodelle / gekoppelte Modelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe + Strommarkliberalisierung
 - + zunehmende europäische Marktintegration + internationale Energie- und Klimapolitik + Erneuerbare + Elektromobilität + Smart Grids
 - jetzt wird's kompliziert

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
- Atomausstieg: Domäne der Energiesystemmodelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe: Hybridmodelle / gekoppelte Modelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe + Strommarkliberalisierung
 - + zunehmende europäische Marktintegration + internationale Energie- und Klimapolitik + Erneuerbare + Elektromobilität + Smart Grids
 - jetzt wird's kompliziert
 - die bisher üblichen Modelle bilden die veränderte Wirklichkeit für viele Fragestellungen zu wenig ab

Zu jeder Fragestellung das passende Modell

- Lenkungsabgaben: Domäne der Allgemeinen Gleichgewichtsmodelle
- Atomausstieg: Domäne der Energiesystemmodelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe: Hybridmodelle / gekoppelte Modelle
- Atomausstieg + Lenkungsabgabe + Strommarkliberalisierung
+ zunehmende europäische Marktintegration + internationale Energie-
und Klimapolitik + Erneuerbare + Elektromobilität + Smart Grids
 - jetzt wird's kompliziert
 - die bisher üblichen Modelle bilden die veränderte Wirklichkeit für viele Fragestellungen zu wenig ab
 - Politikempfehlungen auf dieser Basis können gefährlich sein

Das ELECTRA-Projekt

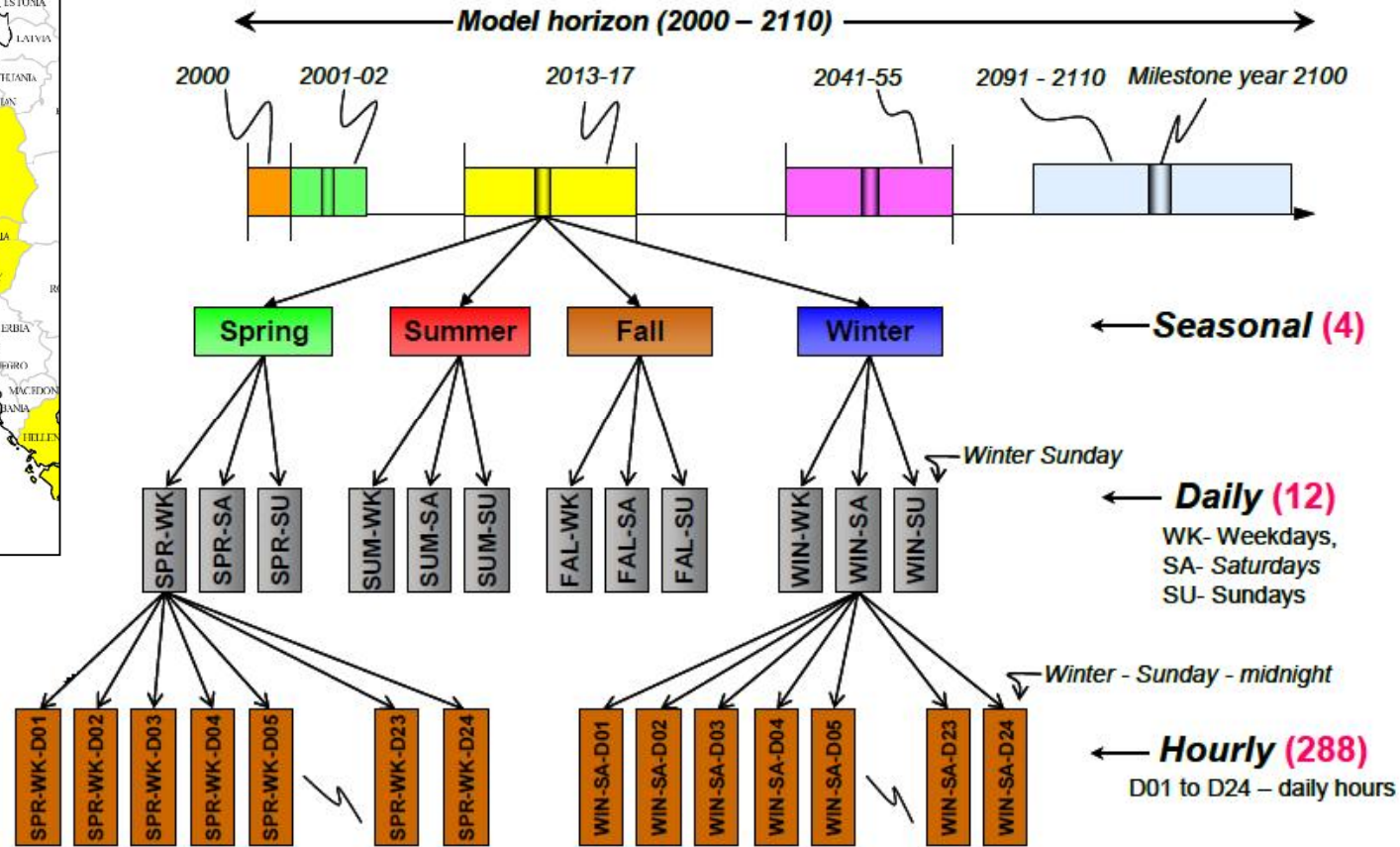
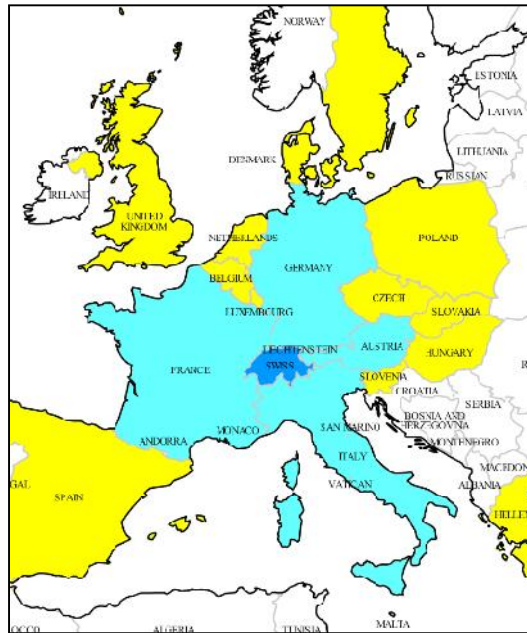
- ELECTRA: Electricity markets and trade in Switzerland and its neighbouring countries
 - Konsortium: Econability, EPFL, Paul Scherrer Institut
 - Finanzierung: EWG-Programm des Bundesamts für Energie
 - Laufzeit: November 2011 – März 2015

- Mitarbeit: Sophie Maire (EPFL/Econability), Rajesh Pattupara (PSI), Marc Vielle (EPFL), Kannan Ramachandran (PSI), Hal Turton (PSI), Philippe Thalmann (EPFL), Frank Vöhringer (Econability/EPFL)

Das ELECTRA-Projekt

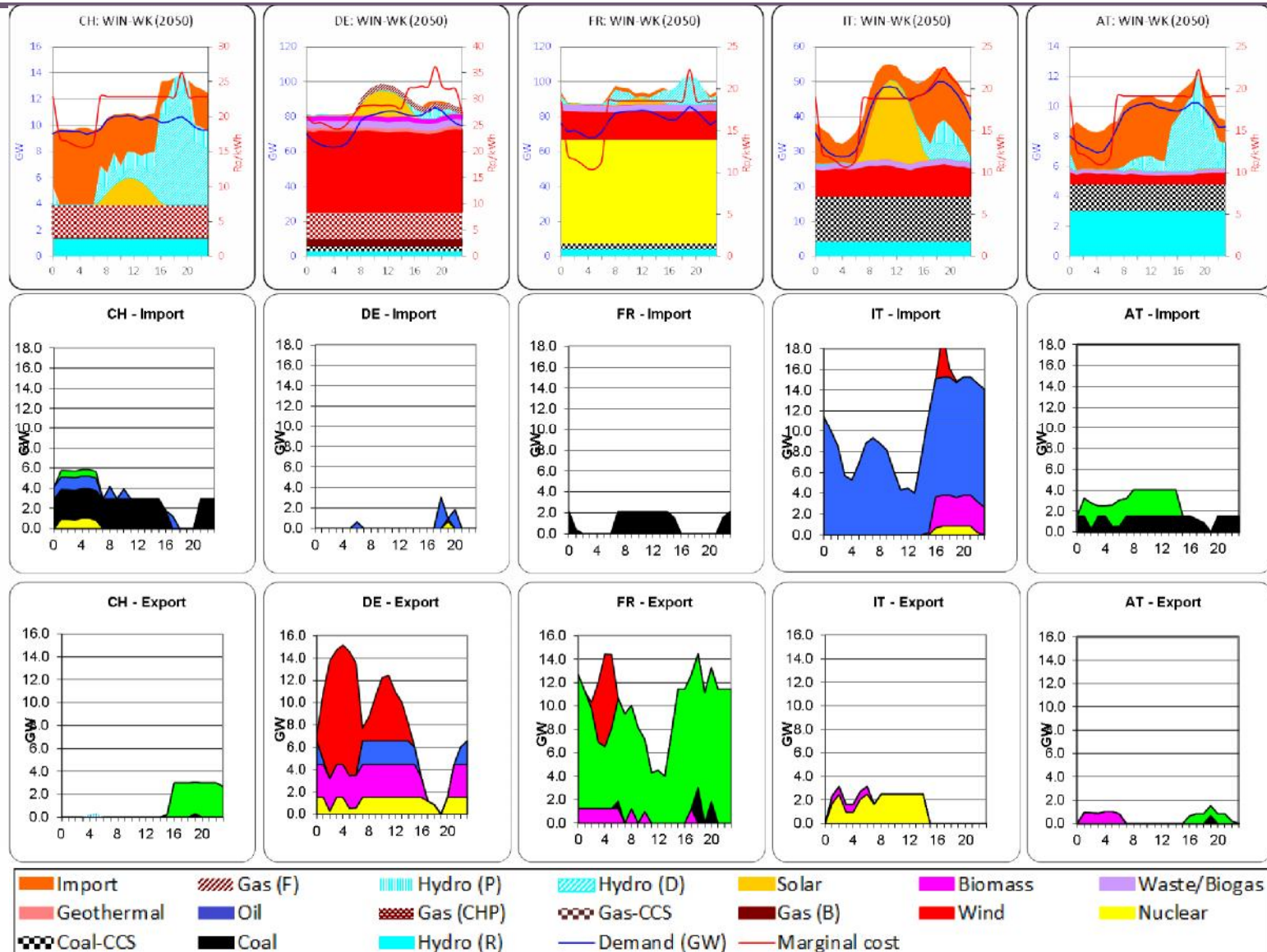
- ELECTRA: Electricity markets and trade in Switzerland and its neighbouring countries
 - Konsortium: Econability, EPFL, Paul Scherrer Institut
 - Finanzierung: EWG-Programm des Bundesamts für Energie
 - Laufzeit: November 2011 – März 2015
- Entwicklung eines gekoppelten Modellsystems, das
 - die relevanten Systemanforderungen und technischen Ausbauoptionen im Detail erfasst,
 - die flexible Stromnachfrage von Haushalten und Sektoren für verschiedene Zwecke abbildet,
 - alle relevanten Verbindungen des Stromsektors mit anderen Teilen der Volkswirtschaft und dem Ausland abbildet,
 - die Strommarktiliberalisierung einbezieht.
- Mitarbeit: Sophie Maire (EPFL/Econability), Rajesh Pattupara (PSI), Marc Vielle (EPFL), Kannan Ramachandran (PSI), Hal Turton (PSI), Philippe Thalmann (EPFL), Frank Vöhringer (Econability/EPFL)

ELECTRA CROSSTHEM (Stromangebotsmodell, PSI)



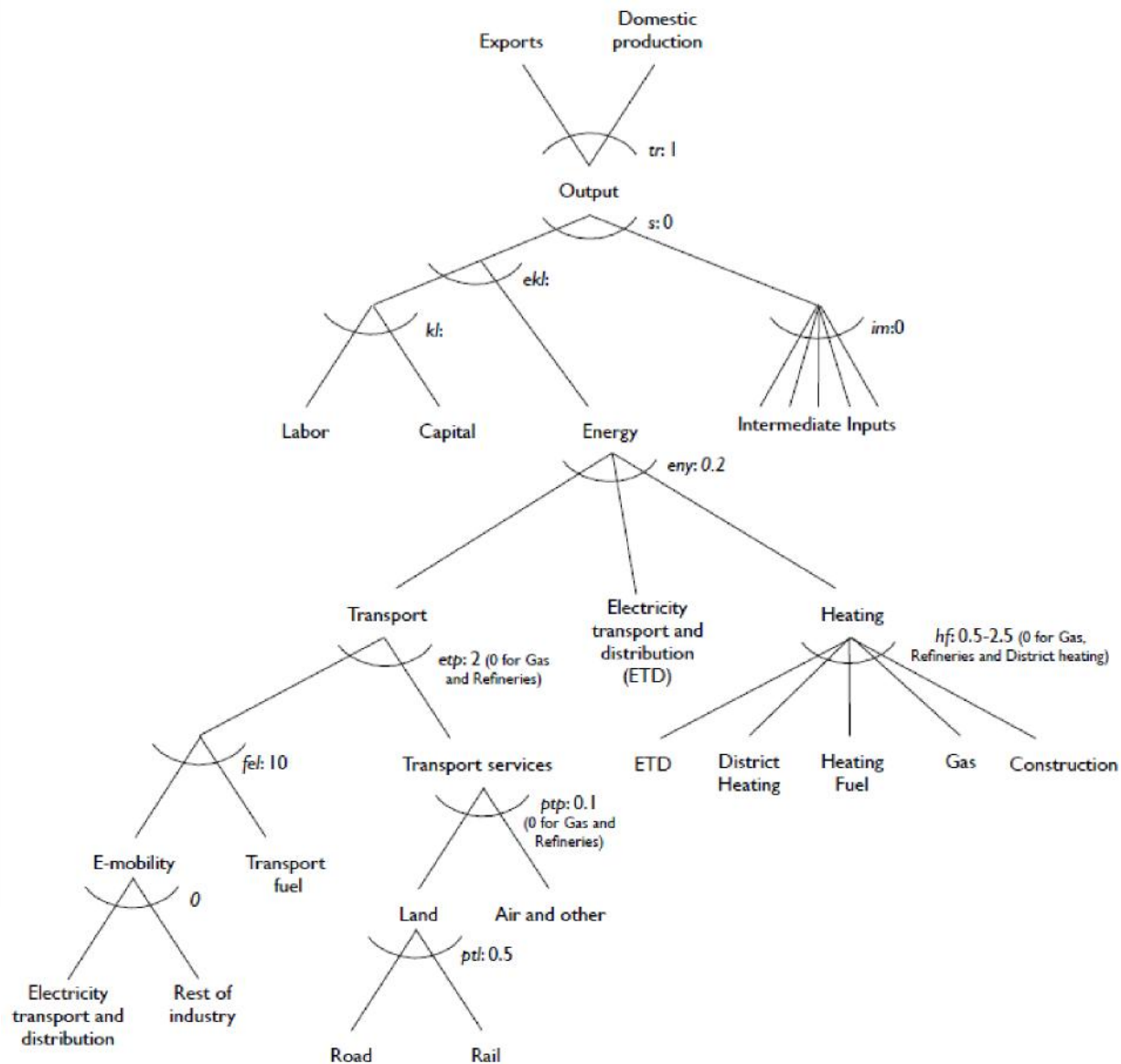
CROSSTEM (Kraftwerkseinsatz & internationaler Handel)

Winter weekday 2050

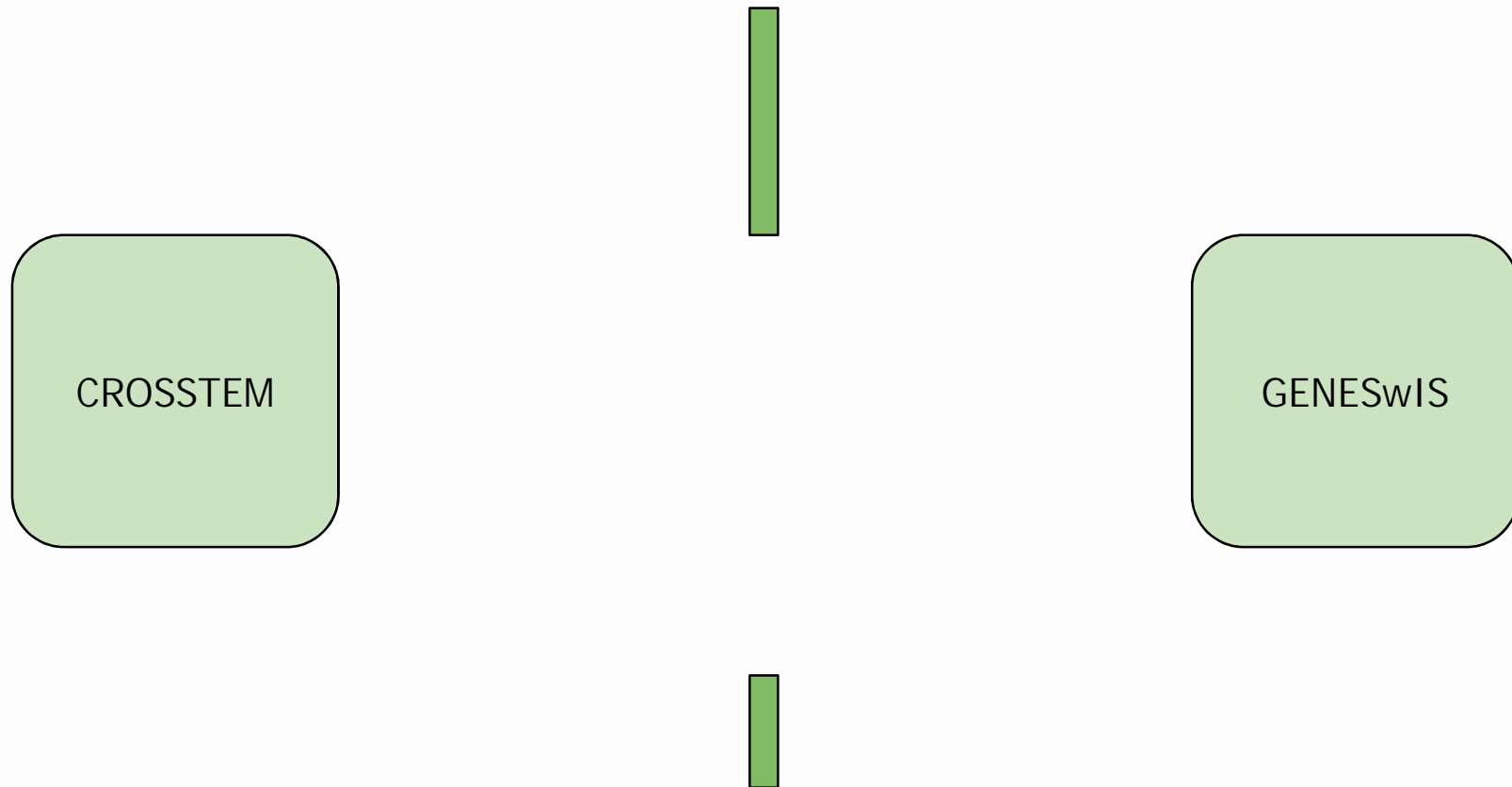


|| Pumped Hydro || Switzerland || Others || Italy || Germany || France || Austria

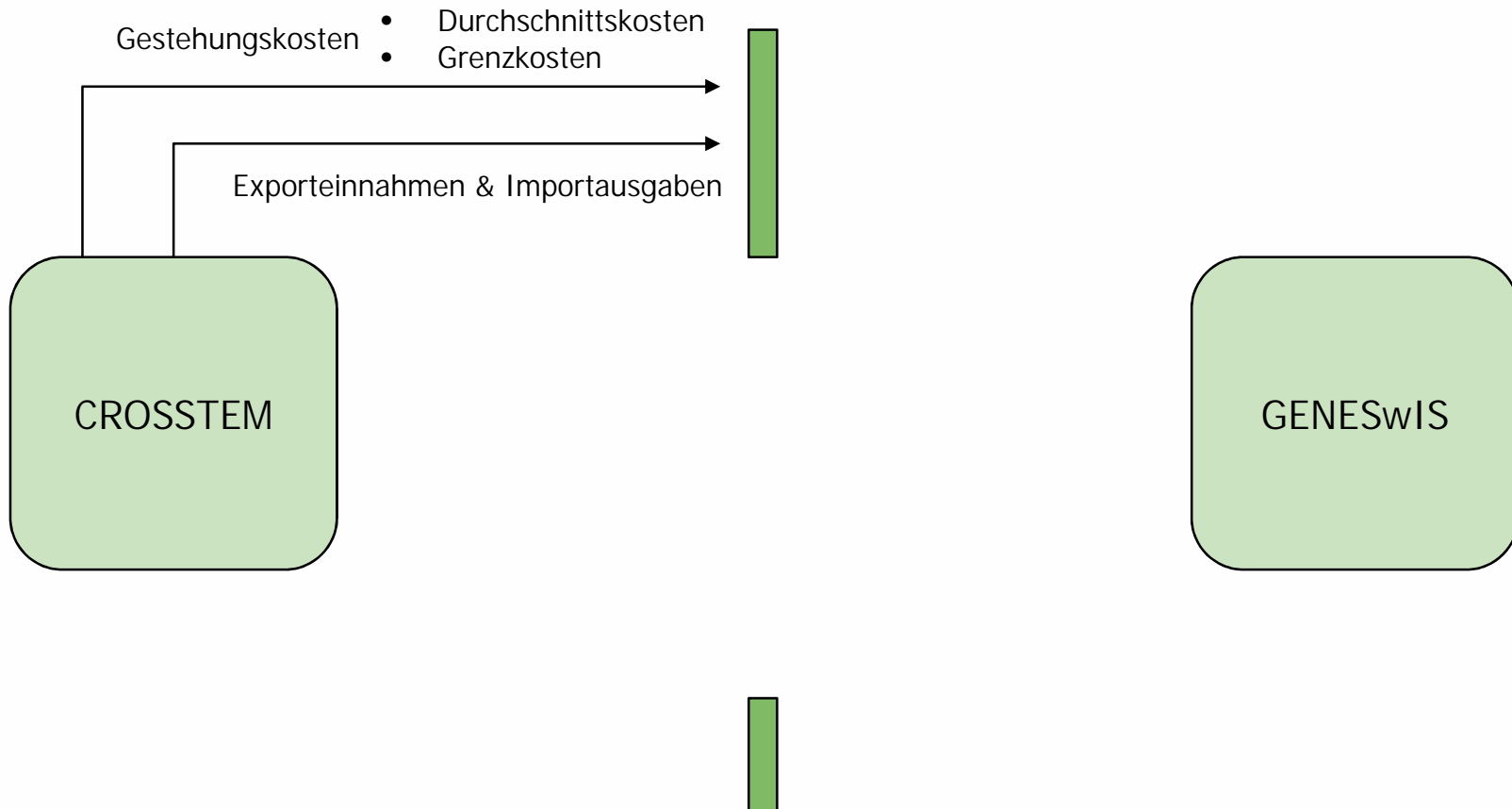
GENESwIS (allg. GG-Modell, Econability/EPFL)



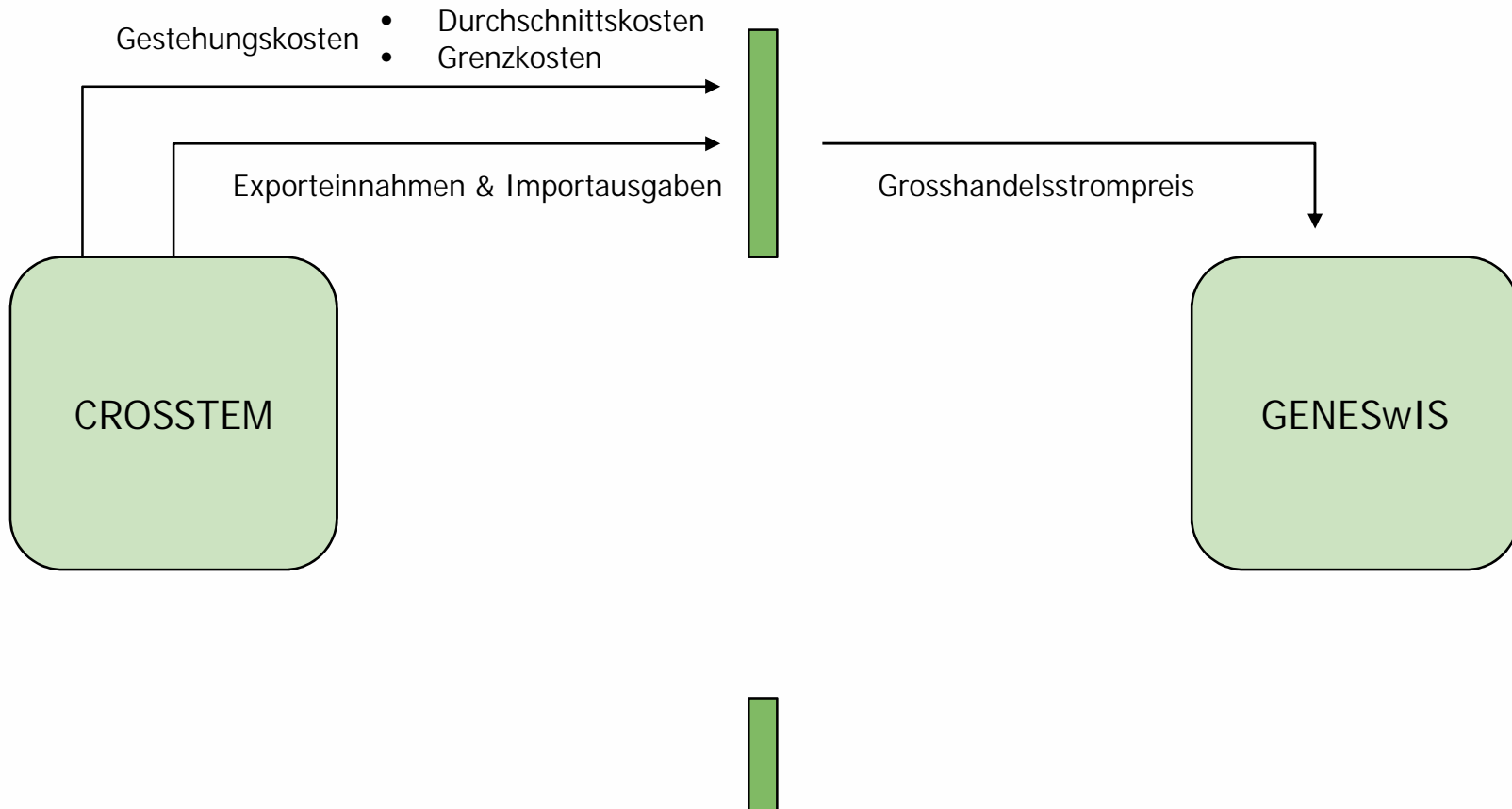
ELECTRA Kopplung



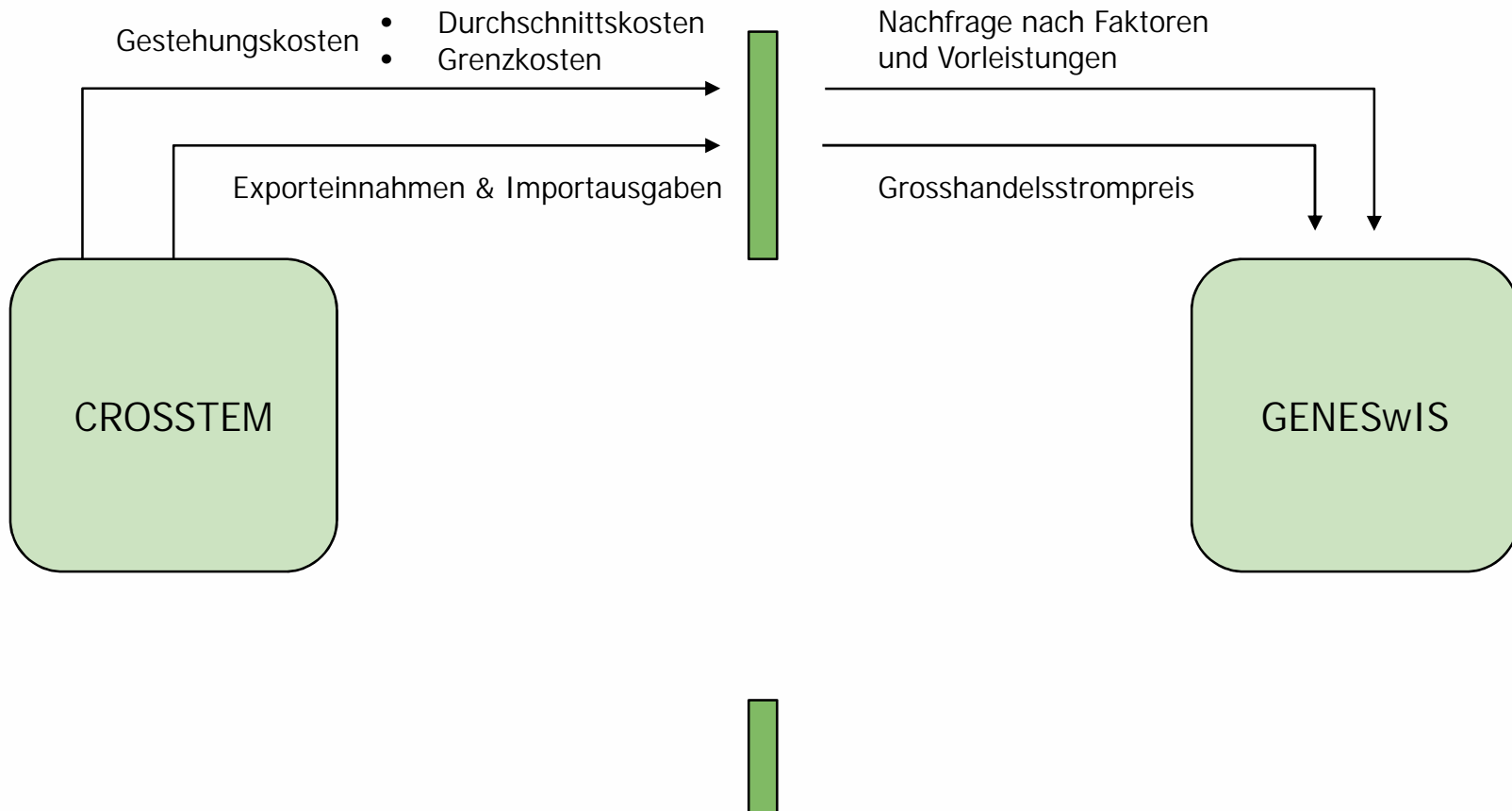
ELECTRA Kopplung



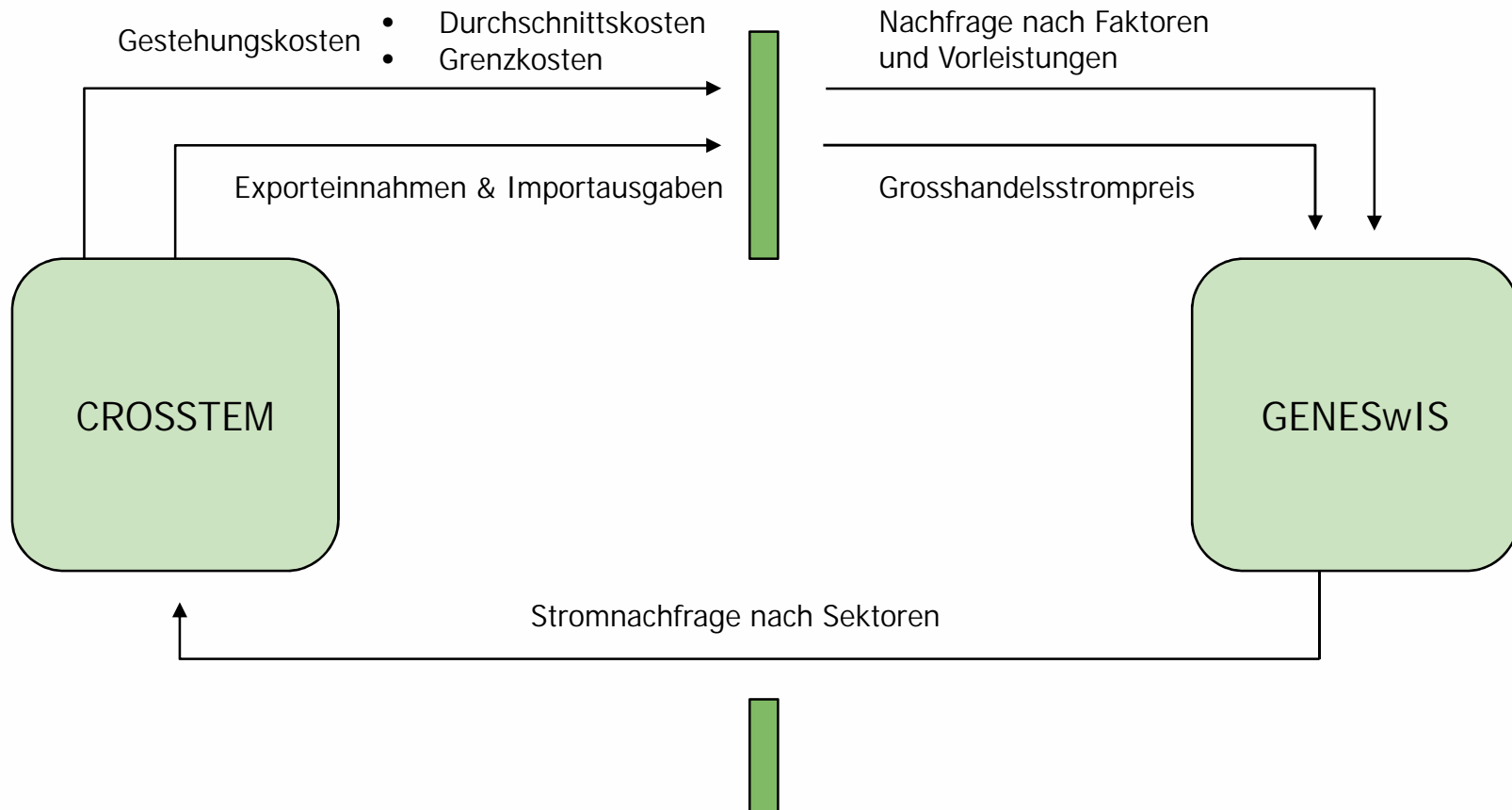
ELECTRA Kopplung



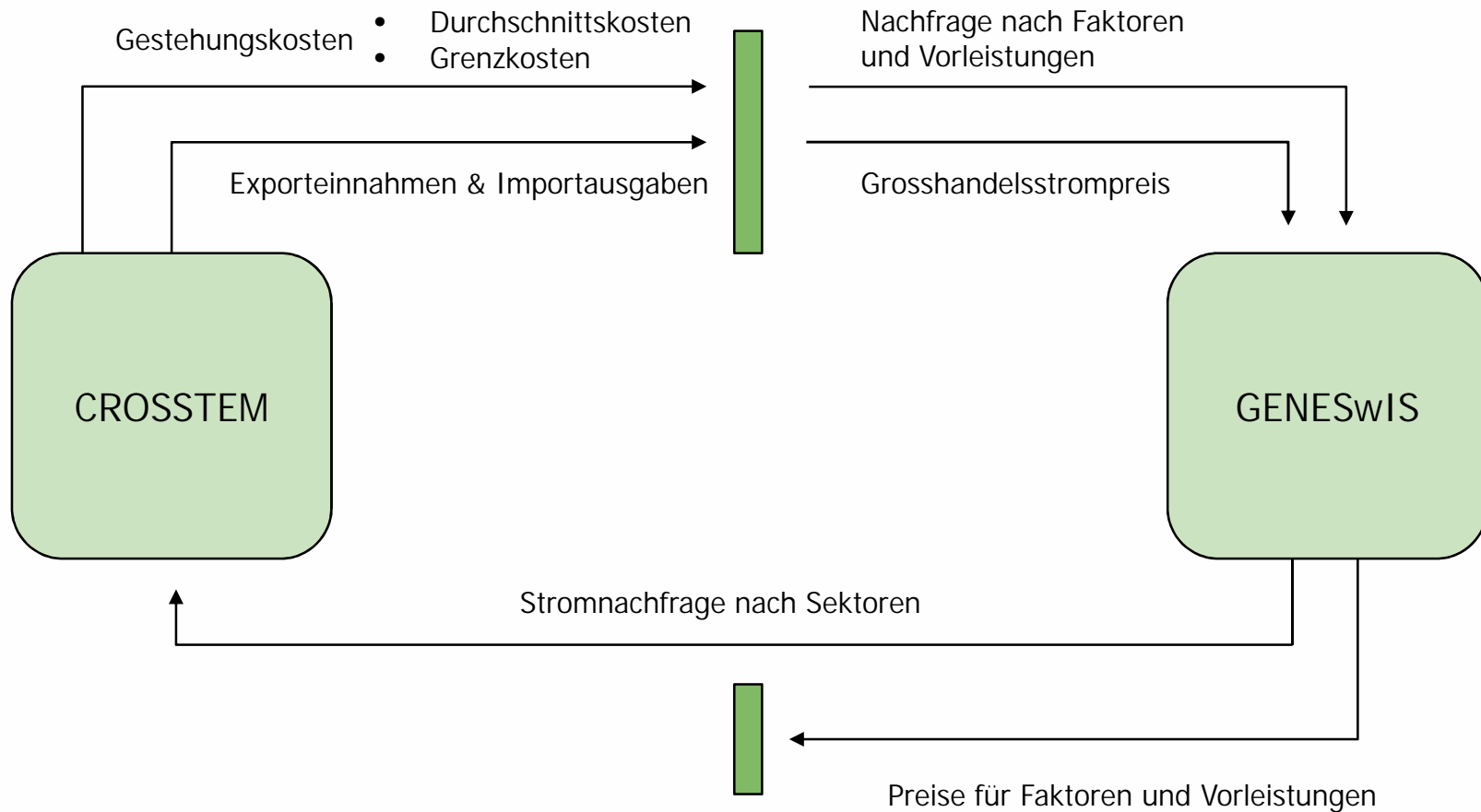
ELECTRA Kopplung



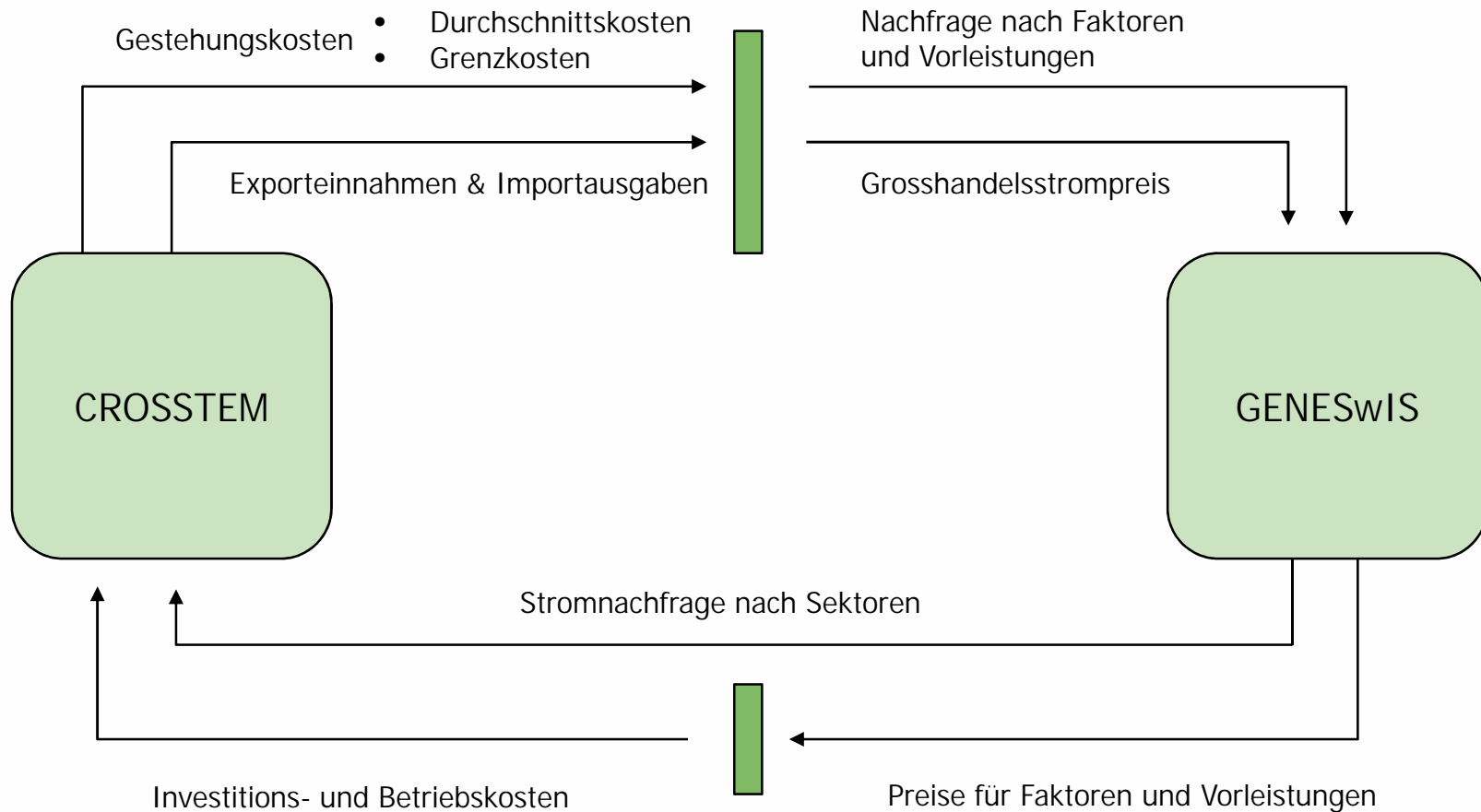
ELECTRA Kopplung



ELECTRA Kopplung



ELECTRA Kopplung



Referenzszenario

„weiter wie bisher“

Steuerszenario

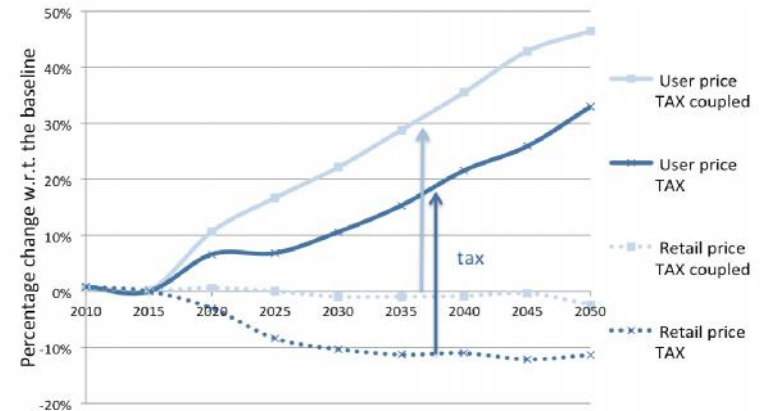
Steuersätze

	2020	2050
Stromsteuer	10%	50%
Erhöhung der CO ₂ -Abgabe	72 CHF/t	200 CHF/t
ab 2035 auch auf Treibstoffe	0 CHF/t	200 CHF/t

Koppeln macht den Unterschied

■ ELECTRA vs. GENESwIS stand-alone:

- Preisunterschiede im Steuerszenario von bis zu 12%
- Nachfrageunterschiede: bis zu 7%
- Grund: Kostenfunktion basiert auf einzelnen Technologien und merit order

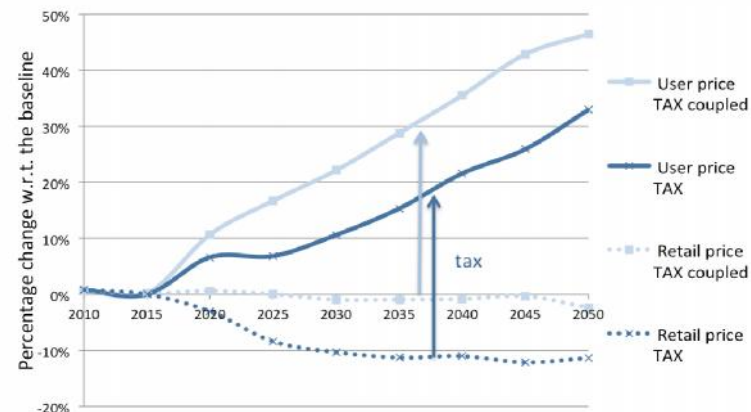


Grosshandels- und Endverbraucherpreise im Steuerszenario im Vergleich zum jeweiligen Referenzszenario: GENESwIS stand-alone vs. ELECTRA

Koppeln macht den Unterschied

■ ELECTRA vs. GENESwIS stand-alone:

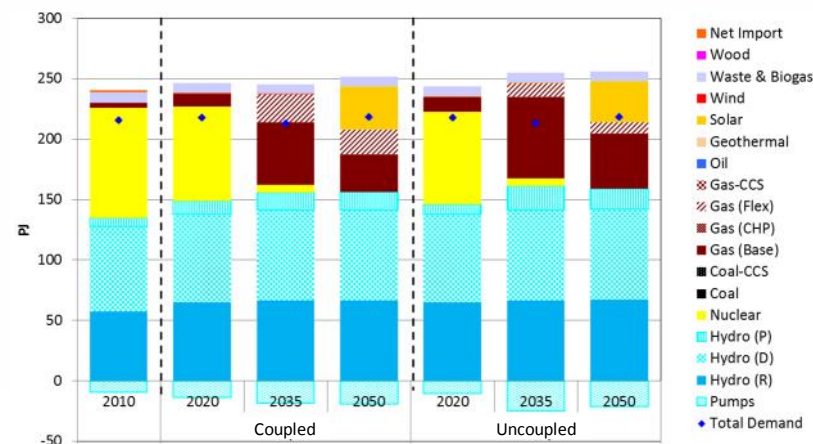
- Preisunterschiede im Steuerszenario von bis zu 12%
- Nachfrageunterschiede: bis zu 7%
- Grund: Kostenfunktion basiert auf einzelnen Technologien und merit order



Grosshandels- und Endverbraucherpreise im Steuerszenario im Vergleich zum jeweiligen Referenz-szenario: GENESwIS stand-alone vs. ELECTRA

■ ELECTRA vs. Crosstem stand-alone:

- geringere Stromgestehung
- höherer Anteil flexibler Gaskraftwerke
- Gründe:
 - geringere Nachfrage
 - Preisveränderungen bedingen höhere Kosten der Wasserkraft



Strommix Schweiz (Steuerszenario)
ELECTRA (coupled) vs Crosstem (uncoupled)

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Preisbildung im Grosshandelsmarkt

Traditionell regulierter Markt

Vollständig liberalisierter Markt

Preisbildung

Anreiz für Zubau

Modellierung

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Preisbildung im Grosshandelsmarkt

	Traditionell regulierter Markt	Vollständig liberalisierter Markt
Preisbildung	<p>Preisregulierung</p> <ul style="list-style-type: none">• Gestehungskosten• «angemessene» Kapitalrendite	
Anreiz für Zubau		
Modellierung		

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Preisbildung im Grosshandelsmarkt

	Traditionell regulierter Markt	Vollständig liberalisierter Markt
Preisbildung	<p>Preisregulierung</p> <ul style="list-style-type: none">• Gestehungskosten• «angemessene» Kapitalrendite	
Anreiz für Zubau	<ul style="list-style-type: none">• „angemessene“ Kapitalrendite• Subvention (offen oder verdeckt)	
Modellierung		

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Preisbildung im Grosshandelsmarkt

	Traditionell regulierter Markt	Vollständig liberalisierter Markt
Preisbildung	<p>Preisregulierung</p> <ul style="list-style-type: none">• Gestehungskosten• «angemessene» Kapitalrendite	
Anreiz für Zubau	<ul style="list-style-type: none">• „angemessene“ Kapitalrendite• Subvention (offen oder verdeckt)	
Modellierung	<p>Preis = Durchschnittskosten plus Kapitalrendite</p>	

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Preisbildung im Grosshandelsmarkt

	Traditionell regulierter Markt	Vollständig liberalisierter Markt
Preisbildung	<p>Preisregulierung</p> <ul style="list-style-type: none">• Gestehungskosten• «angemessene» Kapitalrendite	<p>Marktpreise</p> <ul style="list-style-type: none">• Grenzkosten• Knappheitsrenten enthalten (nur bei Knappheit)  <p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der vertikalen Achse (\$) und der horizontalen Achse (Q). Eine vertikale Angebotskurve (S) und eine fallende Nachfragekurve (D1) sind eingezeichnet. Eine horizontale Linie stellt die variablen Kosten dar. Der Bereich zwischen der Angebotskurve und der Nachfragekurve oberhalb der variablen Kosten ist als 'Knappheitsrente' (Shut-out rent) markiert. Der Punkt P auf der vertikalen Achse markiert den Preis, der bei Knappheit entsteht.</p>
Anreiz für Zubau	<ul style="list-style-type: none">• „angemessene“ Kapitalrendite• Subvention (offen oder verdeckt)	
Modellierung	Preis = Durchschnittskosten plus Kapitalrendite	

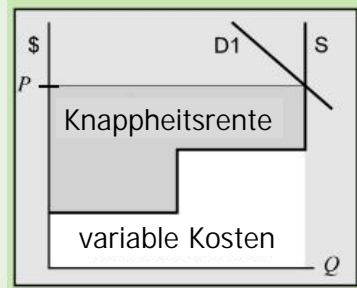
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Preisbildung im Grosshandelsmarkt

	Traditionell regulierter Markt	Vollständig liberalisierter Markt
Preisbildung	<p>Preisregulierung</p> <ul style="list-style-type: none">• Gestehungskosten• «angemessene» Kapitalrendite	<p>Marktpreise</p> <ul style="list-style-type: none">• Grenzkosten• Knappheitsrenten enthalten (nur bei Knappheit)  <p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der vertikalen Achse (\$) und der horizontalen Achse (Q). Eine vertikale Angebotskurve (S) und eine fallende Nachfragekurve (D1) sind eingezeichnet. Eine horizontale Linie markiert die 'variable Kosten'. Der Schnittpunkt von D1 und S bestimmt den Marktpreis P. Der Bereich zwischen P und den variablen Kosten bis zur Menge der Angebotskurve ist als 'Knappheitsrente' (Shaded Area) gekennzeichnet.</p>
Anreiz für Zubau	<ul style="list-style-type: none">• „angemessene“ Kapitalrendite• Subvention (offen oder verdeckt)	<p>Gleichgewichtspreise mit ausreichender Knappheitsrente</p>
Modellierung	<p>Preis = Durchschnittskosten plus Kapitalrendite</p>	

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Preisbildung im Grosshandelsmarkt

	Traditionell regulierter Markt	Vollständig liberalisierter Markt
Preisbildung	<p>Preisregulierung</p> <ul style="list-style-type: none">• Gestehungskosten• «angemessene» Kapitalrendite	<p>Marktpreise</p> <ul style="list-style-type: none">• Grenzkosten• Knappheitsrenten enthalten (nur bei Knappheit) 
Anreiz für Zubau	<ul style="list-style-type: none">• „angemessene“ Kapitalrendite• Subvention (offen oder verdeckt)	Gleichgewichtspreise mit ausreichender Knappheitsrente
Modellierung	Preis = Durchschnittskosten plus Kapitalrendite	Preis = „langfristige“ Grenzkosten

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Und die Zukunft der Marktregulierung?

■ Heute

- fortschreitende Liberalisierung
- Überkapazitäten
- => keine Knappheitsrente, kein Zubau ohne Subvention

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Und die Zukunft der Marktregulierung?

■ Heute

- fortschreitende Liberalisierung
- Überkapazitäten
- => keine Knappheitsrente, kein Zubau ohne Subvention

■ Morgen

- Versorgungssicherheit
 - Unabhängige Stromversorgung ist bereits zur Illusion geworden
 - Wie verändert sich die nationale Definition der Versorgungssicherheit?
 - Subventionen für Zubau nötig?
 - Möchte die Politik mittelbar bestimmen, was und wieviel zugebaut wird?

Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Und die Zukunft der Marktregulierung?

■ Heute

- fortschreitende Liberalisierung
- Überkapazitäten
- => keine Knappheitsrente, kein Zubau ohne Subvention

■ Morgen

- Versorgungssicherheit
 - Unabhängige Stromversorgung ist bereits zur Illusion geworden
 - Wie verändert sich die nationale Definition der Versorgungssicherheit?
 - Subventionen für Zubau nötig?
 - Möchte die Politik mittelbar bestimmen, was und wieviel zugebaut wird?
- Liberalisierung
 - Trauen wir uns, Knappheitspreise zuzulassen?
 - Auch wenn es zu extremen Preisspitzen kommt?
 - Ökonomische Effizienz vs. Vermeidung politischer Schwierigkeiten
 - Also irgendeine Mischung? Welche?

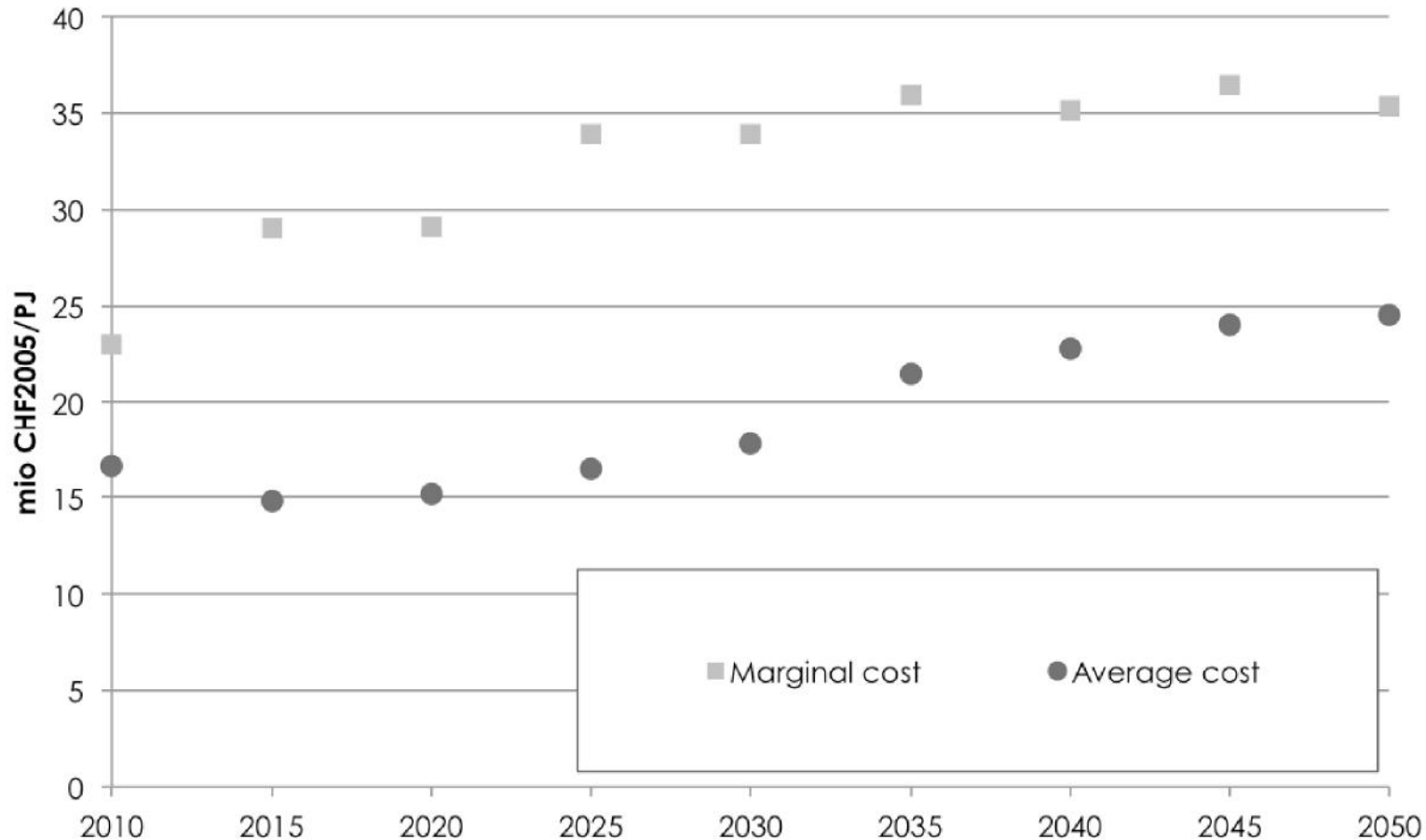
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Szenarien

		Preisbildung	
		Regulierter Markt	Liberalisierter Markt
Politik-szenarien	Referenzszenario „weiter wie bisher“	BAU-REG	BAU_LIB
	Steuerszenario Steuersätze 2050 Stromsteuer 50% CO ₂ -Abgabe 200 CHF/t (auf Treibstoffe ab 2035)	TAX_REG	TAX_LIB

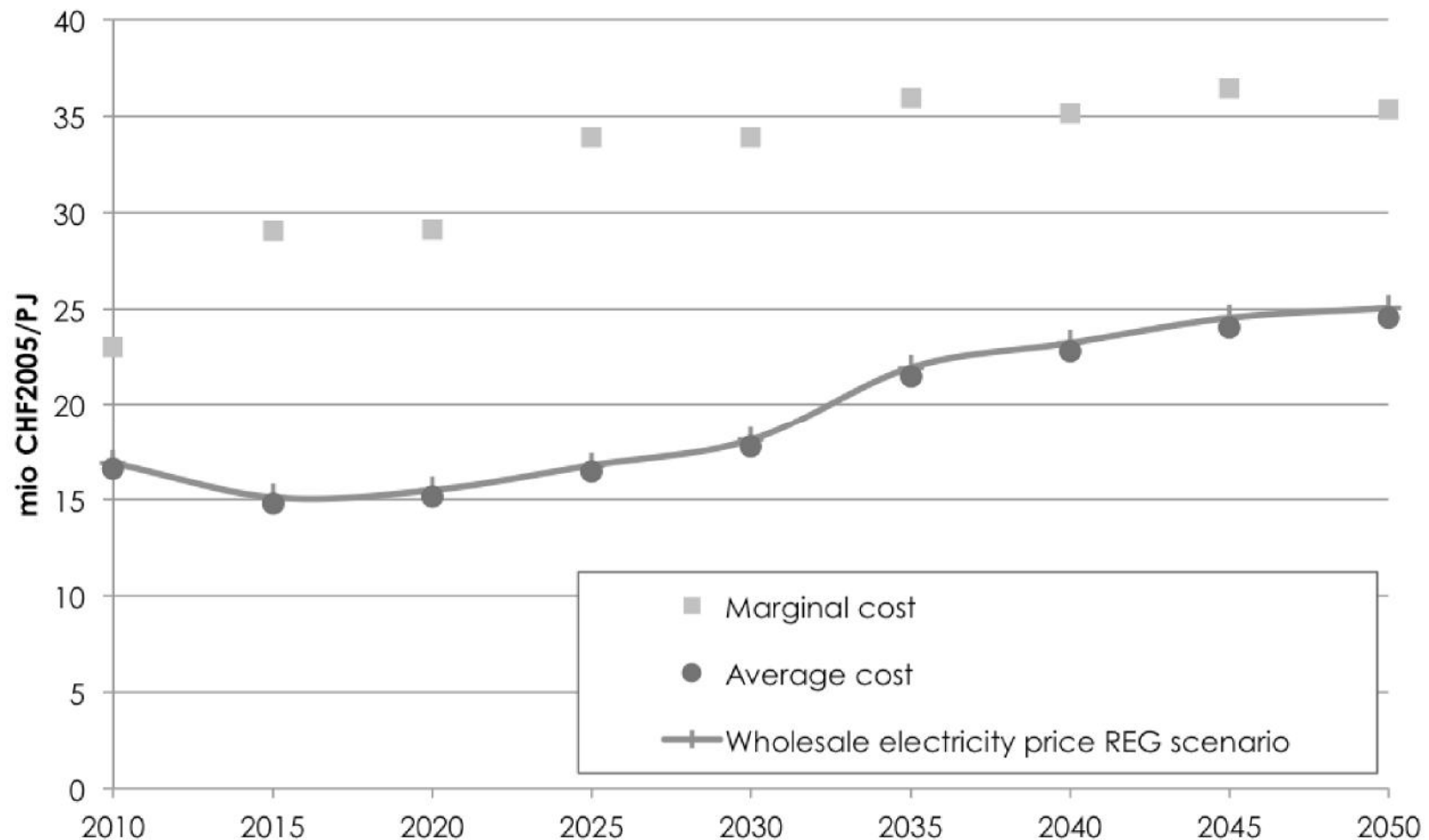
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Grenz- und Durchschnittskosten



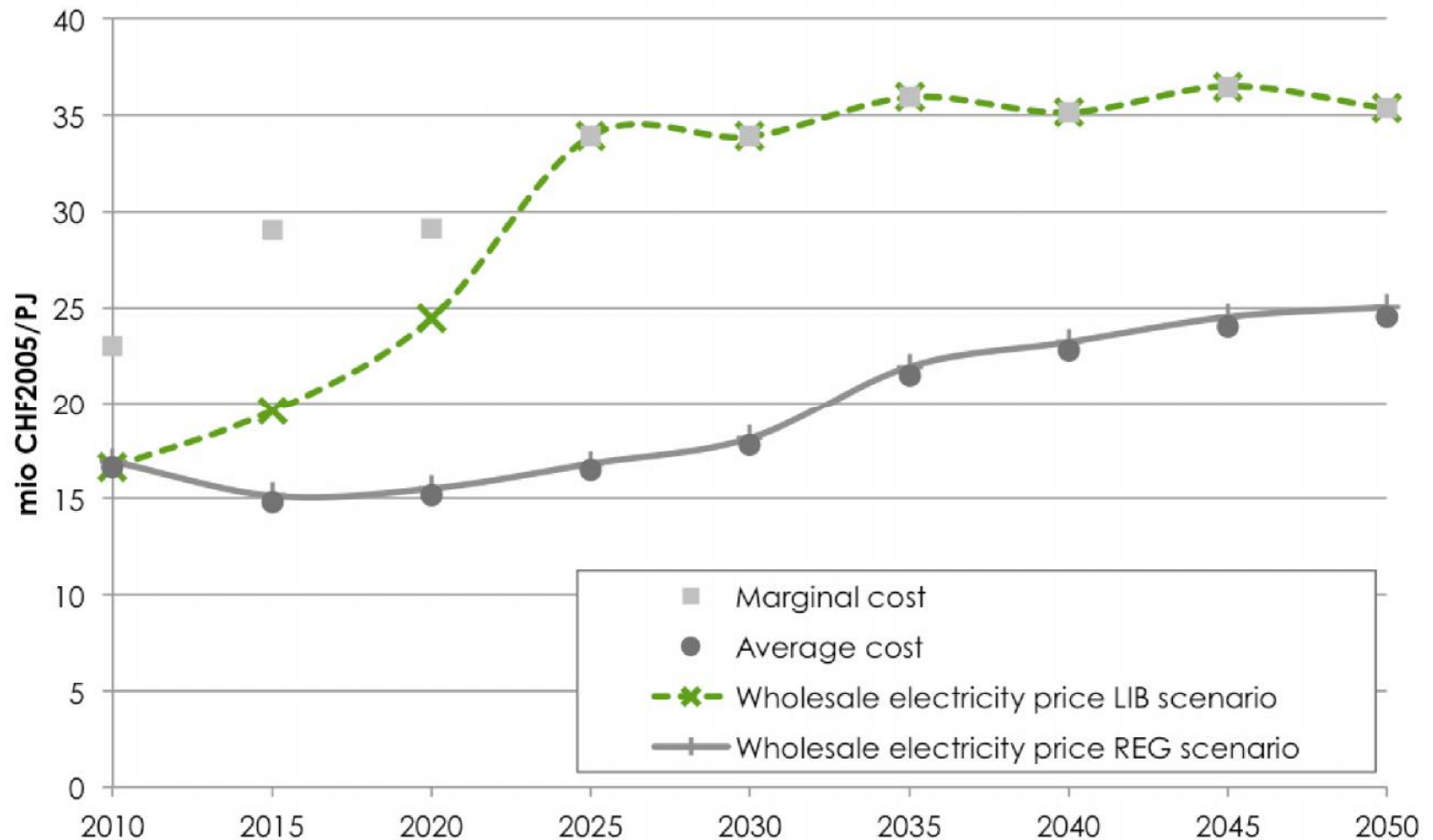
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Von Kosten zu Preisen (Kostendeckung)



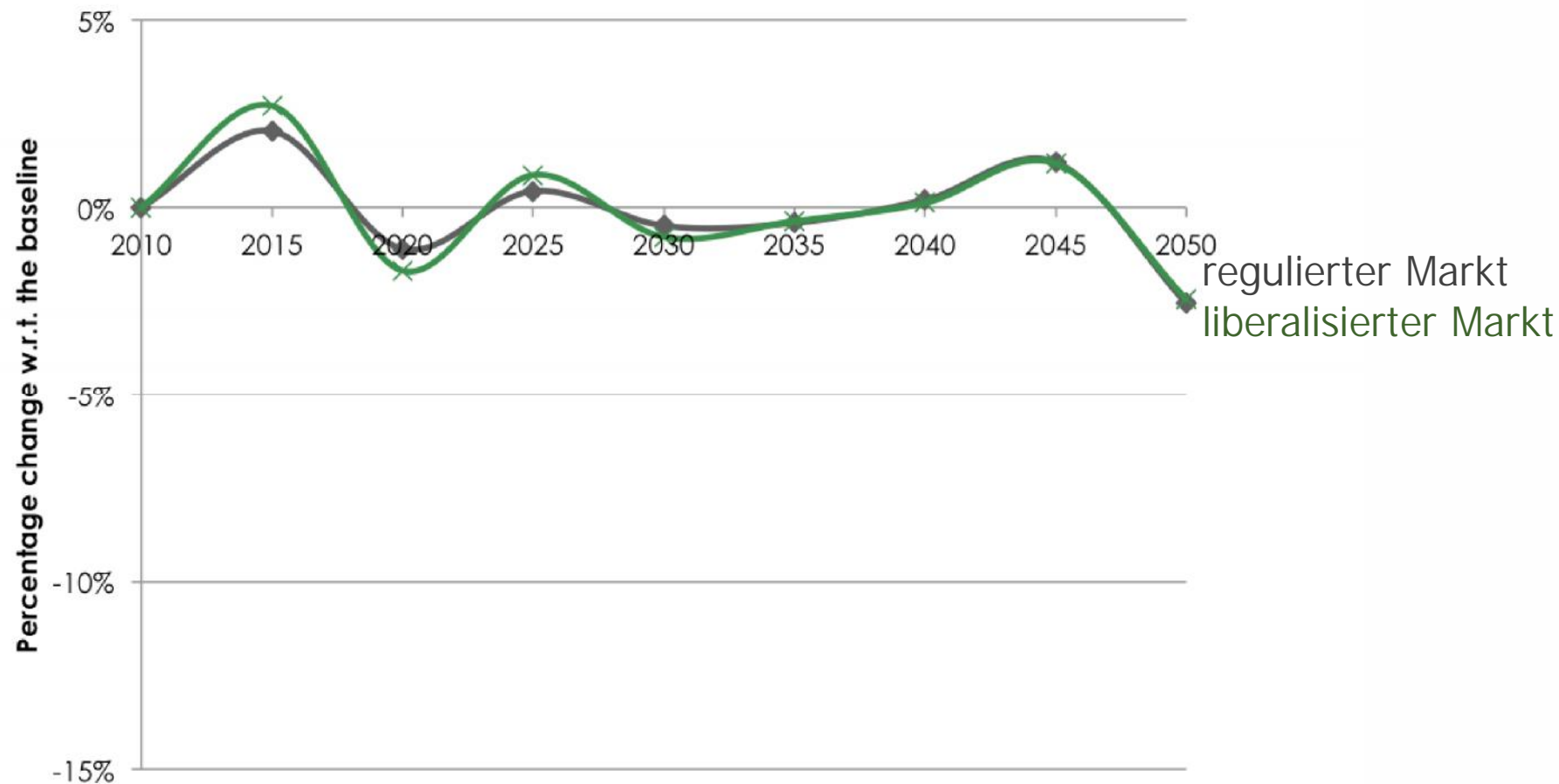
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Von Kosten zu Preisen (Liberalisierung)



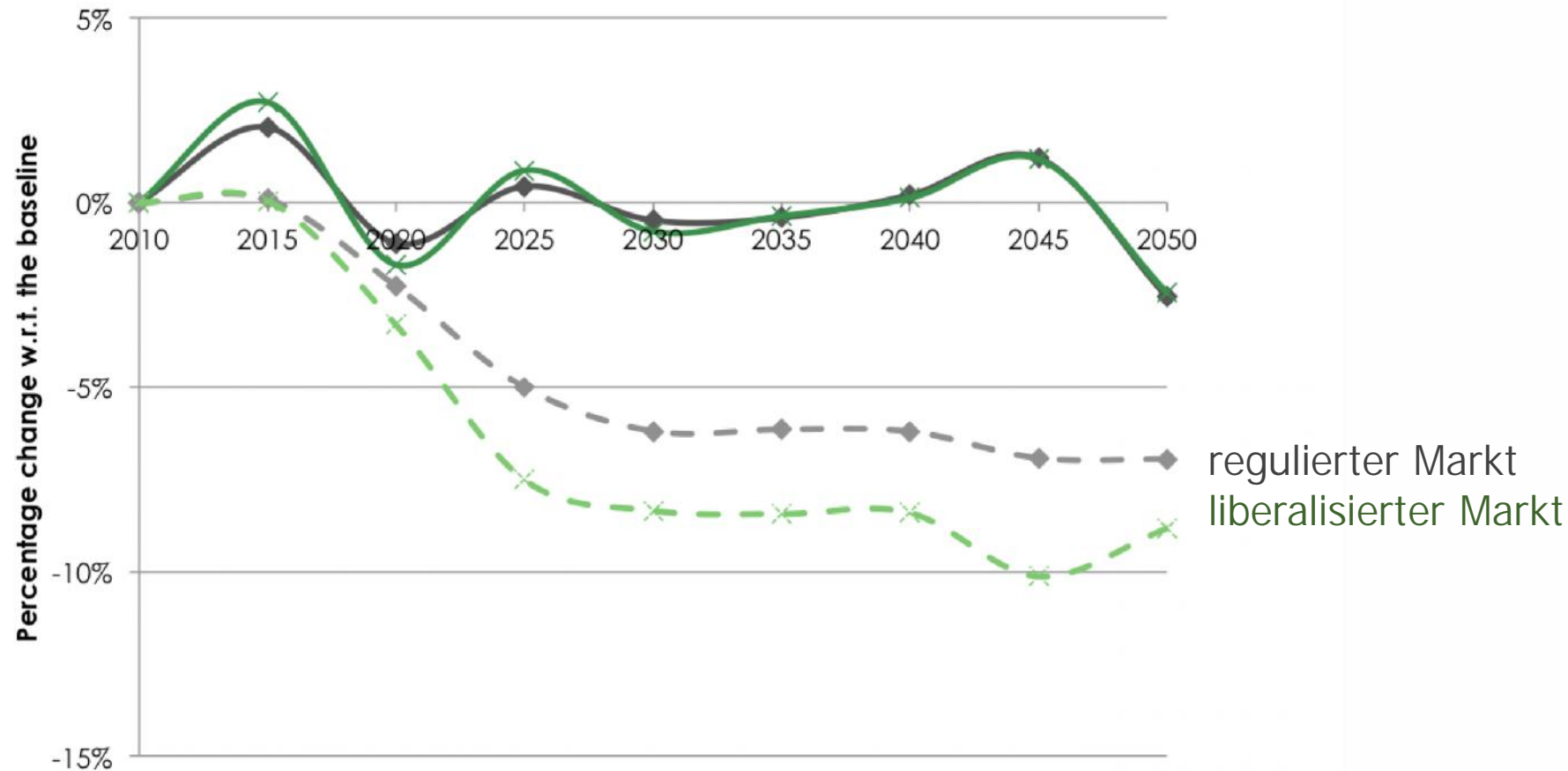
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Steuerwirkung auf die Grenzkosten



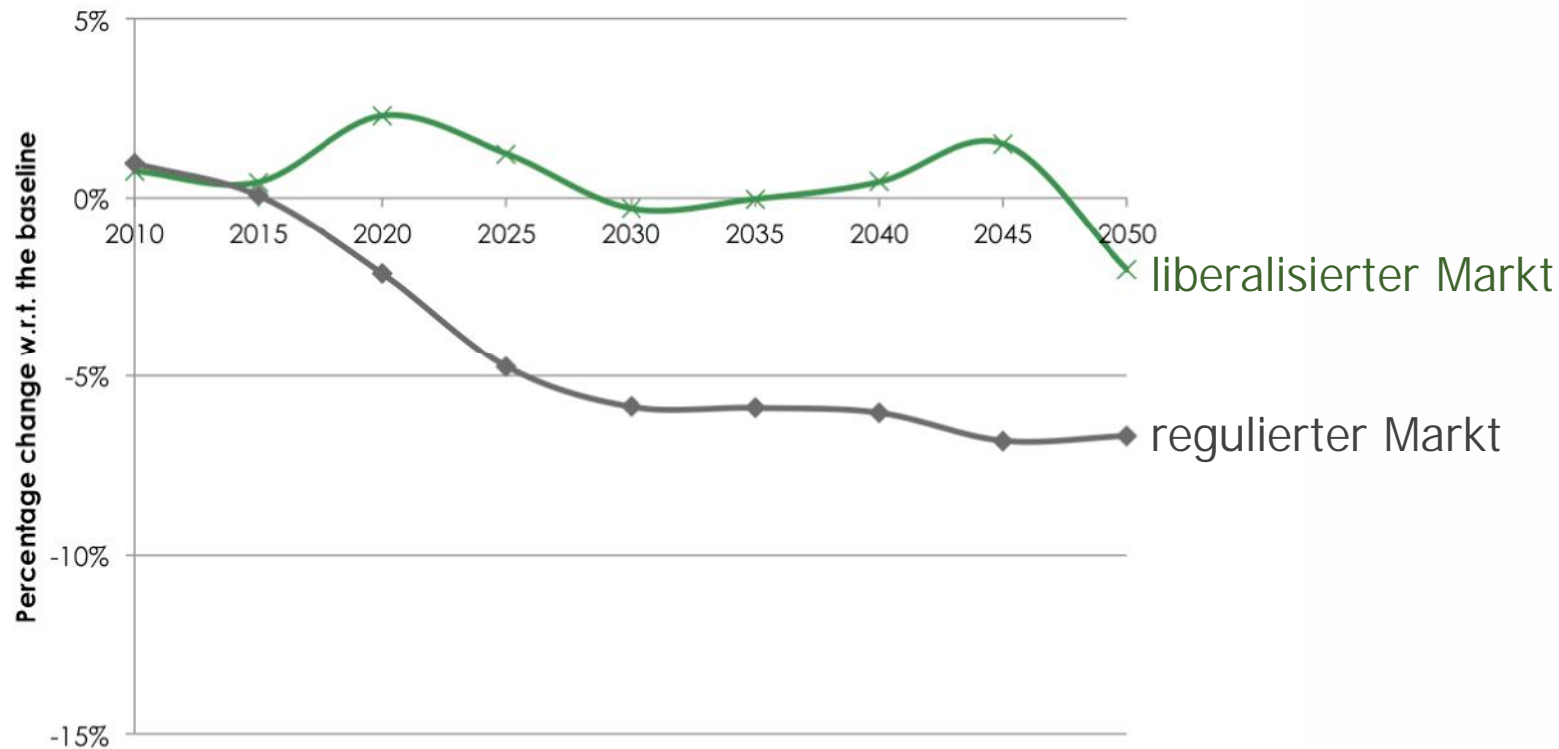
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Steuerwirkung auf die Durchschnittskosten



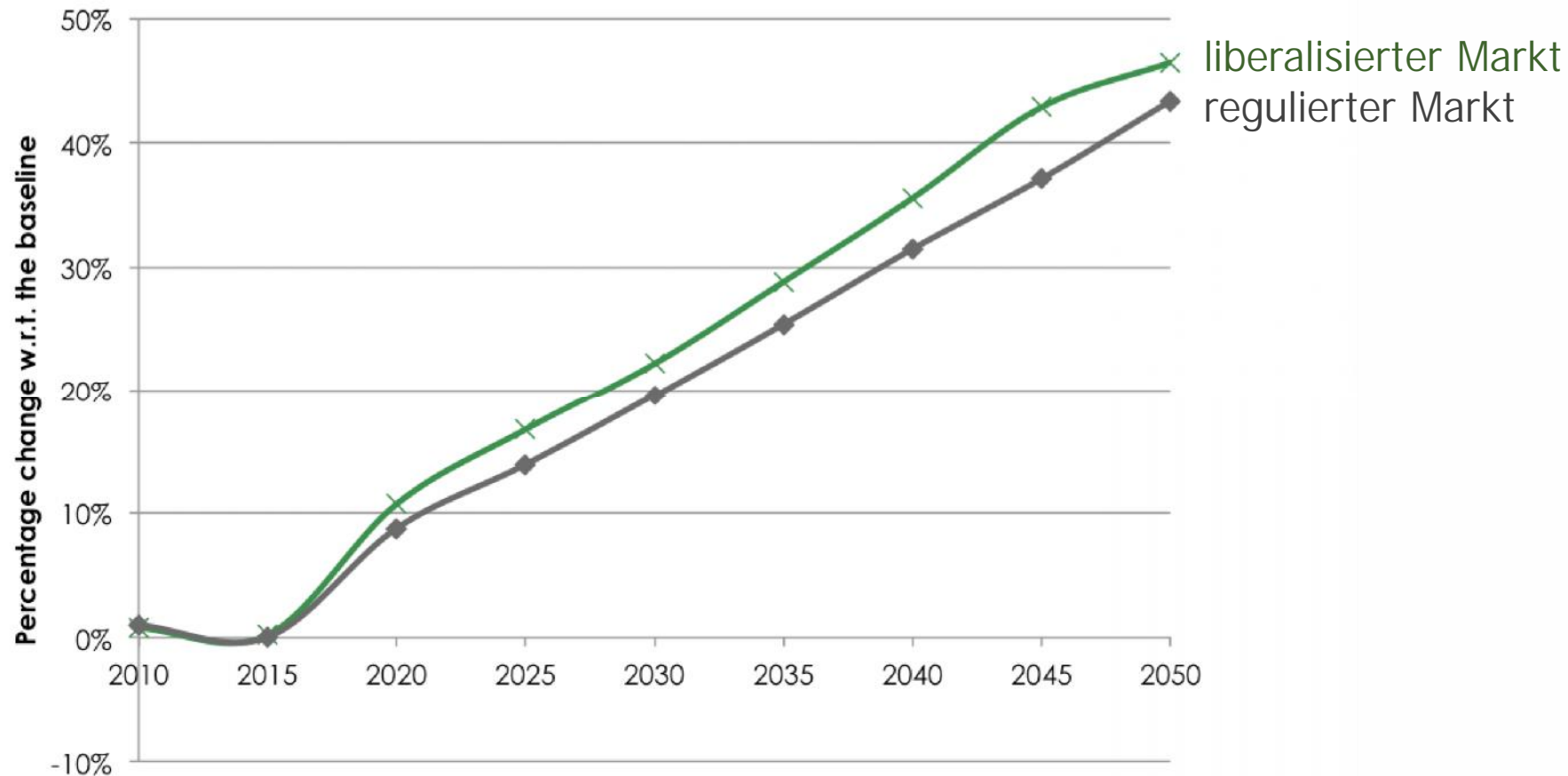
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Steuerwirkung auf die Grosshandelspreise



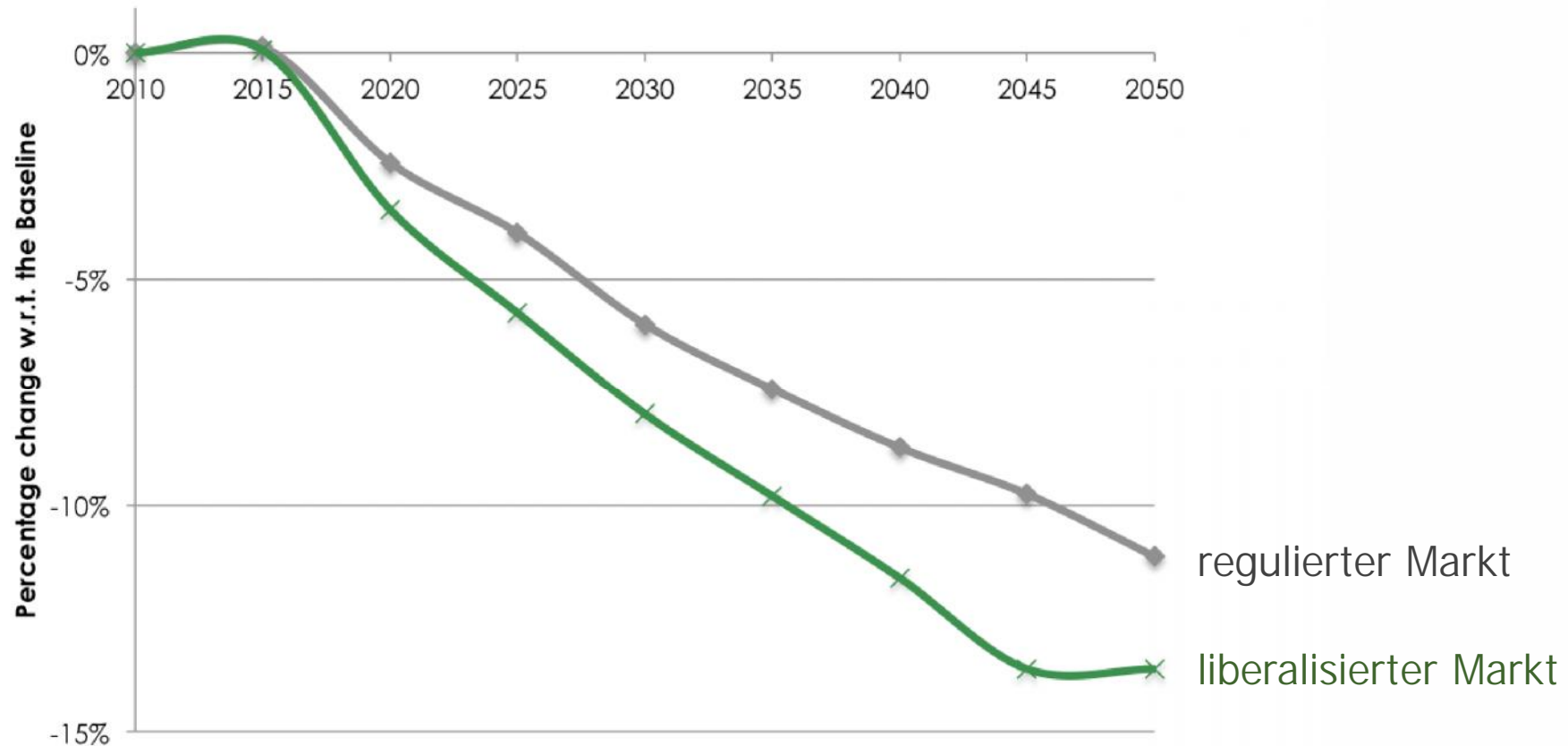
Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Steuerwirkung auf die Endkundenpreise



Koppeln vor und nach der Liberalisierung

Steuerwirkung auf die Endnachfrage



Zusatzszenario: Strom- statt Gasimporte

- Entsprechung in PJ
- 2 Mrd. Franken weniger jährliche Systemkosten 2035
- Der Wohlfahrtsgewinn beträgt aber nur 1 Mrd. Franken

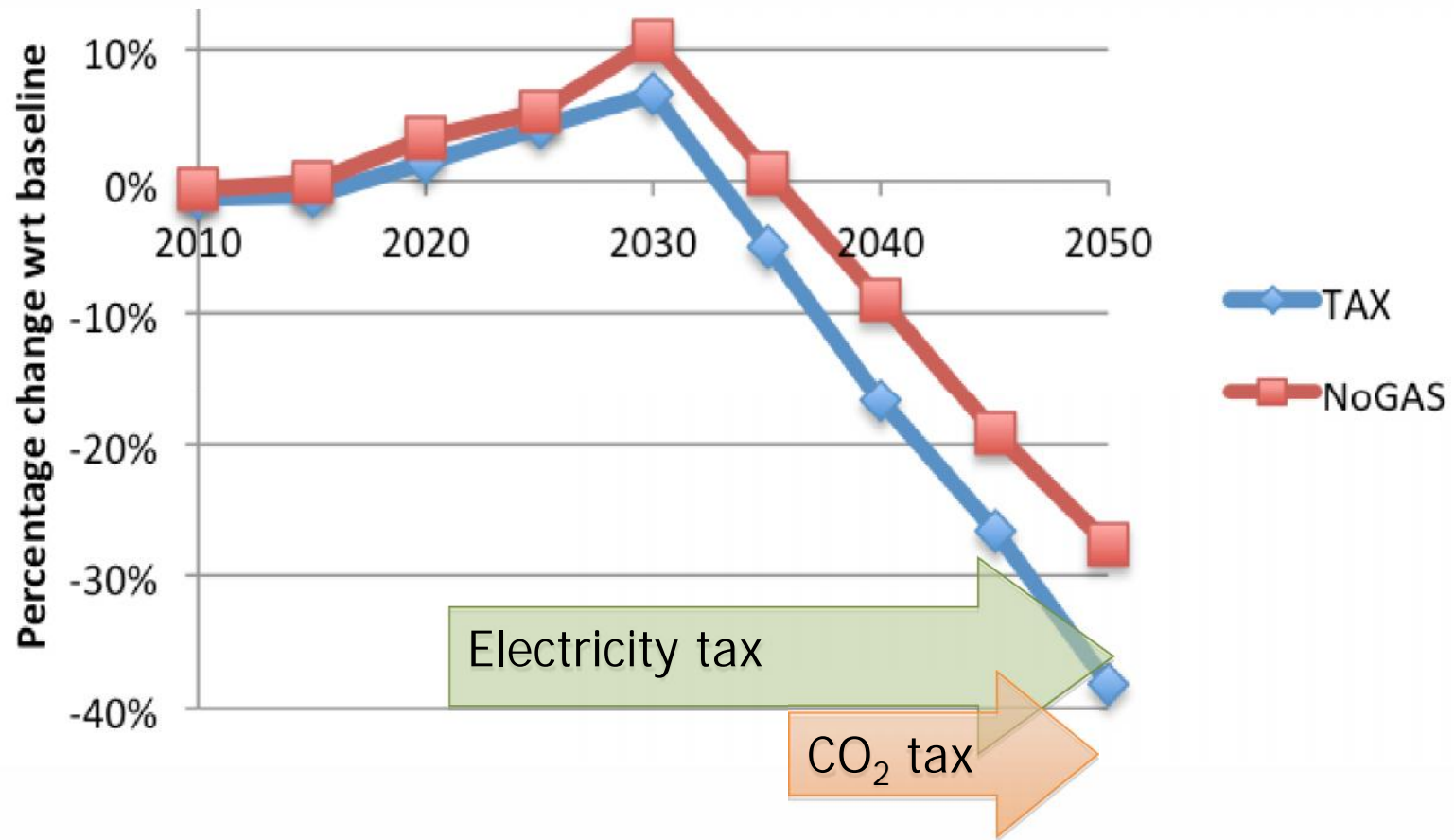
Zusatzszenario: Strom- statt Gasimporte

- Entsprechung in PJ
- 2 Mrd. Franken weniger jährliche Systemkosten 2035
- Der Wohlfahrtsgewinn beträgt aber nur 1 Mrd. Franken
- Grund:
 - die Grenzkosten sinken unterproportional
 - der Strompreis sinkt nur wenig
 - die Gewinne der Stromproduzenten steigen
 - der Markup wirkt verzerrend wie eine Steuer

Zusatzszenario: Strom- statt Gasimporte

- Entsprechung in PJ
- 2 Mrd. Franken weniger jährliche Systemkosten 2035
- Der Wohlfahrtsgewinn beträgt aber nur 1 Mrd. Franken
- Grund:
 - die Grenzkosten sinken unterproportional
 - der Strompreis sinkt nur wenig
 - die Gewinne der Stromproduzenten steigen
 - der Markup wirkt verzerrend wie eine Steuer
- Fazit: die bottom-up-Berechnung der Systemkosten greift zu kurz, vor allem, wenn man verstehen möchte, wer profitiert.

CO₂-Emissionen (Treibstoffe)



Weitere Herausforderungen für ELECTRA

- Erneuerbare (volatile Erzeugung, KEV)
- Netzausbau (endogen)
- Kopplung mit internationalen Modellen (GEMINI-E3, CROSSTEM)
 - zur besseren endogenen Bestimmung der Preise im grenzüberschreitenden Stromhandel
 - zur endogenen Berücksichtigung der internationalen Auswirkungen von Energie- und Klimapolitiken

Schlussfolgerungen

- Bei vielen Fragestellungen geht es nicht ohne Kopplung
 - Kraftwerkspark und Zubauoptionen sind für die Wirkung z.B. von Lenkungsabgaben ebenso entscheidend wie allgemeine Gleichgewichtseffekte.
 - Es geht nicht nur um Systemkosten, sondern auch darum, wer gewinnt und verliert (Gleichgewichtspreise, Kapitalrenditen, Knappheitsrenten).

Schlussfolgerungen

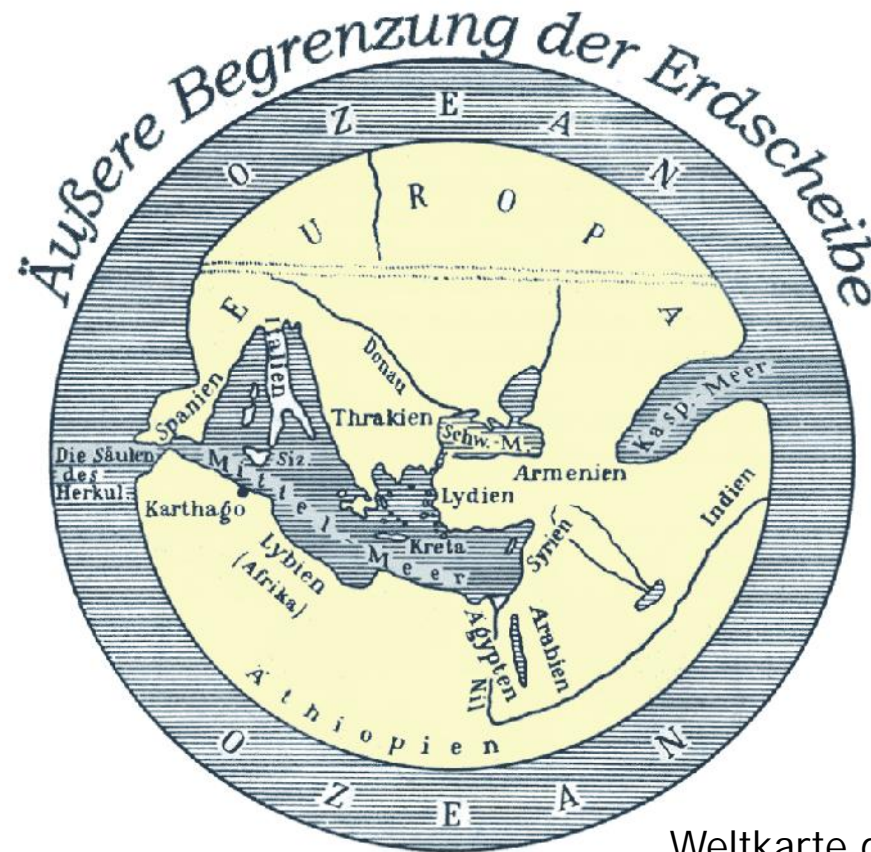
- Bei vielen Fragestellungen geht es nicht ohne Kopplung
 - Kraftwerkspark und Zubauoptionen sind für die Wirkung z.B. von Lenkungsabgaben ebenso entscheidend wie allgemeine Gleichgewichtseffekte.
 - Es geht nicht nur um Systemkosten, sondern auch darum, wer gewinnt und verliert (Gleichgewichtspreise, Kapitalrenditen, Knappheitsrenten).
- Zentrale Bedeutung der Marktregulierung für die Art der Kopplung
 - Andere Preisbildung im liberalisierten Markt
 - Welche Regulierungsannahmen können wir für die Zukunft treffen?

Schlussfolgerungen

- Bei vielen Fragestellungen geht es nicht ohne Kopplung
 - Kraftwerkspark und Zubauoptionen sind für die Wirkung z.B. von Lenkungsabgaben ebenso entscheidend wie allgemeine Gleichgewichtseffekte.
 - Es geht nicht nur um Systemkosten, sondern auch darum, wer gewinnt und verliert (Gleichgewichtspreise, Kapitalrenditen, Knappheitsrenten).
- Zentrale Bedeutung der Marktregulierung für die Art der Kopplung
 - Andere Preisbildung im liberalisierten Markt
 - Welche Regulierungsannahmen können wir für die Zukunft treffen?
- Hoher Aufwand bei der Kopplung
 - Modellharmonisierung
 - Konsistente Kopplung
 - Konvergenz

Hilfreiche Modelle...

... bleiben nicht unter allen Bedingungen hilfreich



Weltkarte des Hekataios

Quelle: Wikipedia nach www.galerie-universum.de

The art of simplicity is a puzzle of complexity

Douglas Horton